

# la Lettre de l'IMAG

Institut d'Informatique et de Mathématiques Appliquées de Grenoble  
Fédération d'unités de recherche du CNRS, de l'Institut national polytechnique de Grenoble et de l'université Joseph-Fourier

## ARTIST2 : UN PROGRAMME EMBARQUÉ POUR L'EUROPE

N° 16  
Septembre 2004

Le réseau d'excellence ARTIST2, piloté par le laboratoire VERIMAG, s'inscrit dans la continuité du programme ARTIST lancé en avril 2002 dans le cadre du 5<sup>e</sup> PCRD. Ce réseau d'excellence du 6<sup>e</sup> PCRD a pour objectif de structurer la recherche européenne sur les systèmes embarqués. Il fédère trente-cinq partenaires de recherche et vingt-cinq industriels et PME technologiques issus de 14 pays différents. La couverture thématique de ce réseau est ainsi agrandie par rapport à la version précédente. Fort de cette expérience, le laboratoire VERIMAG participe également de façon très active à l'élaboration de la Plate-forme technologique européenne (PTE) sur les systèmes embarqués du 7<sup>e</sup> PCRD.

### Des systèmes réactifs et autonomes

Les systèmes embarqués incluent tous les appareils intégrant des logiciels dans leur fonctionnement - que ceux-ci soient visibles à l'utilisateur ou non. Ainsi, ils incluent de très nombreuses applications dans le transport (avionique, espace, automobile, ferroviaire), les appareils électriques et électroniques (appareils photo, jouets, postes de télévision, lave-linges, systèmes audio, téléphones portables), la

distribution d'énergie, l'automatisation, etc. Les systèmes embarqués sont, en quelque sorte, des systèmes informatiques déployés dans le monde physique. Ils captent des informations de leur environnement et agissent dessus sans intervention humaine.

Un téléphone portable, par exemple, capte la qualité du signal et agit de façon autonome sur les paramètres pour optimiser la communication. De même, un poste de télévision détecte les caractéristiques essentielles de l'image et intervient de multiples façons pour l'optimiser. Une voiture capte l'état du moteur et adapte la carburation pour minimiser la pollution et maximiser son rendement énergétique.

L'utilisation étendue des systèmes embarqués dans des produits courants est considérée aujourd'hui comme une évolution majeure pour les technologies et les sciences de l'informatique.

### Des qualités essentielles

Les systèmes embarqués ont un certain nombre de caractéristiques qui leur sont propres et qui structurent le domaine.

Une des caractéristiques importantes pour une grande partie des systèmes embarqués est leur **criticité**. Le degré de criticité d'un système dépend des dégâts potentiels qu'aurait une déviation de son fonctionnement. Cela peut concerner par exemple la sûreté, la sécurité, l'accomplissement du



## Édito

*Interdisciplinarité et ouverture à l'international constituent aujourd'hui des orientations clairement affirmées au sein de l'IMAG. Plus qu'une affirmation, c'est une réalité que nous avons souhaité illustrer avec ce numéro de la Lettre. Réseau européen, collaborations internationales ou plate-forme pluridisciplinaire, ces trois sujets proposés dans ces colonnes constituent en effet des projets engagés déjà depuis plusieurs années ; leur succès et leur pérennité montrent à quel point notre communauté scientifique a su ouvrir ses frontières (géographiques et scientifiques) pour développer son dynamisme et conforter l'excellence de ses recherches.*

YVES CHIARAMELLA directeur de l'IMAG

IMAG Institut d'informatique et de mathématiques appliquées de Grenoble, directeur Yves Chiamarella, directeur adjoint Jean Della Dora  
Fédération de 8 unités mixtes de recherche du CNRS, de l'INPG et de l'UJF :

- CLIPS, communication langagière et interaction personne-système, directeur Jean Caelen
- GRAVIR, informatique graphique, vision et robotique, directeur Jim Crowley
- ID, informatique et distribution, directeur Brigitte Plateau
- LEIBNIZ, informatique fondamentale, mathématiques discrètes et systèmes cognitifs, directeur Nicolas Balacheff
- LMC, laboratoire modélisation et calcul, directeur Georges-Henri Cottet
- LSR, logiciels systèmes réseaux, directeur Farid Ouabdesselam
- TIMC, techniques de l'imagerie, de la modélisation et de la cognition, directeur Jacques Demongeot
- VERIMAG, systèmes embarqués, directeur Joseph Sifakis

service rendu, ou même la santé économique d'une société, basé sur des systèmes embarqués comme le trafic ferroviaire, les télécommunications ou la distribution d'énergie dont dépend le fonctionnement optimal du système. Dans le cas des systèmes à « sûreté critique », qui incluent les contrôleurs de vol aérien, les contrôleurs d'airbags dans les voitures, la signalisation ferroviaire et les systèmes de gestion des processus industriels, une panne ou une défaillance pourraient mettre en danger des vies humaines ou potentiellement causer des catastrophes majeures.

Une autre caractéristique centrale est la **réactivité** des systèmes embarqués vis-à-vis de leur environnement. Leur temps de réaction doit être en rapport avec les événements sur lesquels ils agissent (c'est ce qui est appelé le temps réel). Dans ces systèmes, une réponse donnée trop tard équivaut à une réponse erronée. La plupart des systèmes temps réel sont aussi des systèmes critiques. Un exemple est l'airbag, qui doit s'ouvrir à temps pour sauver la vie des passagers (« sûreté critique ») ou le contrôleur de machine de fabrication qui doit suivre la cadence (« business critical »).

Les systèmes embarqués actuels doivent aussi pouvoir gérer des **qualités « extra fonctionnelles »** souvent en conflit les unes avec les autres. Ces qualités incluent la qualité du service rendu, la sécurité, l'optimisation des ressources (consommation d'énergie, bande passante de communication, charge de calcul, sécurité, taille/poids, etc.). Leur prise en compte peut aussi varier selon le marché visé.

Les systèmes embarqués doivent être autonomes, car ils doivent remplir leurs fonctions sans intervention humaine sur des durées étendues. Cette autonomie est particulièrement nécessaire là où les réactions humaines sont impossibles, trop lentes ou insuffisamment précises.

Enfin, les systèmes embarqués sont d'une très **grande complexité**, notamment en ce qui concerne leur validation. Il est absolument impossible de tester par exécution l'ensemble des comportements d'un système embarqué. Pour donner une idée de l'ampleur du problème, imaginons un système très simple ne possédant seulement que deux valeurs en entrée (soit 64 bits), et fournissant un service basé sur celles-ci. Même en testant 100 000 configurations par seconde il faudrait plus de 5 millions d'années pour parcourir l'ensemble des états du système et vérifier qu'ils ne

conduisent pas à une erreur grave. Il existe d'autres techniques plus sophistiquées que l'exécution pour valider les systèmes mais celles-ci ne sont pas toujours employées de façon systématique.

## Repenser l'ingénierie des systèmes embarqués

Il y a une dizaine d'années, le nombre d'applications des systèmes embarqués était relativement faible et pour l'essentiel restreint aux applications hautement critiques pour la sûreté (l'avionique, le ferroviaire, les usines de production) ; celles-ci étaient très coûteuses et leur temps de développement très long.

Aujourd'hui, l'utilisation généralisée des systèmes embarqués dans les produits de masse modifie considérablement les contraintes de l'ingénierie de ces systèmes.

Que ce soit pour la téléphonie mobile, l'automobile ou l'électronique grand public, les composants (matériels et/ou logiciels) développés doivent répondre parfaitement aux besoins de l'application - alors qu'il y a 10 ans, les processeurs à usages multiples prévalaient. Ceci conduit à une très grande hétérogénéité des composants employés dans les systèmes embarqués.

Ces **composants hétérogènes** doivent également s'intégrer sans encombre dans leur environnement et coopérer harmonieusement avec d'autres systèmes hétérogènes pour fournir le ou les services demandés.

Ces facteurs font ressortir le besoin émergeant de techniques de conception des systèmes capables de prendre en compte conjointement la fonctionnalité (être capable de livrer un service spécifique), la qualité (performance, sécurité), l'implémentation physique (poids, taille, résistance aux vibrations, aux irradiations...) et les contraintes de marché. Ces techniques sont centrées sur le système, pour prendre en compte principalement

comme résultat final son fonctionnement et ses caractéristiques globales dans son environnement réel.

Pour toutes ces raisons nous voyons aujourd'hui émerger les systèmes embarqués en tant que discipline à part entière.

Cette nouvelle discipline réunit de nombreuses **compétences** comme l'informatique, l'électronique, l'automatique, l'architecture des systèmes, les mathématiques.

Le réseau européen ARTIST2 agit concrètement en ce sens, en réunissant des équipes du plus haut niveau pour aborder de concert les verrous scientifiques du domaine, pour proposer et soutenir des interactions avec des équipes en dehors de l'Europe, pour proposer des **curricula** concrets pour l'éducation des systèmes embarqués, et pour instaurer des liens profonds et efficaces avec l'industrie.

L'Europe se mobilise pour structurer et augmenter son potentiel de recherche, via de nombreux programmes nationaux et européens, comme le réseau d'excellence ARTIST2 qui réunit 35 des meilleures équipes européennes en systèmes embarqués autour d'un programme ambitieux de recherche fondamentale.

Le consortium est organisé autour de 7 « clusters » :

- Modélisation et composants : Bengt Jonsson - Uppsala University
- Temps-réel dur : Albert Benveniste - INRIA/IRISA
- Temps-réel adaptatif : Giorgio Buttazzo - University of Pavia
- Compilateurs et analyse du temps d'exécution : Reinhard Wilhelm - Saarland University
- Plateformes d'exécution : Lothar Thiele - ETH Zurich
- Contrôle pour l'embarqué : Karl-Erik Arzen - Université de Lund
- Test et vérification : Kim Larsen - Université d'Aalborg

Coordination scientifique :  
Joseph Sifakis, Directeur du laboratoire Verimag-Imag (UMR CNRS-INPG-UJF)  
Joseph.Sifakis@imag.fr

Coordination technique :  
Bruno Bouyssounouse, laboratoire Verimag-Imag  
Bruno.Bouyssounouse@imag.fr

Coordination administrative :  
Claudia.Laidet@imag.fr

<http://www.artistembedded.org/FP6/contact> : Bruno.Bouyssounouse@imag.fr

PTE Systèmes embarqués 7<sup>e</sup> PCRD :  
<http://europa.eu.int/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/04/804>

### La lettre de l'IMAG

- Directeur de la publication : Yves Chiaramella.
- Comité de rédaction : Bernard Amy, Clotilde Chaland, Jacques Chassin de Kergommeaux, Thao Dang, Sylvain Gravier, Samuel Hornus, Francesca Leinardi, Isabelle Maugis, Bertrand Michaux, Georges Quenot, Michel Simonet, Denis Trystram.
- Réalisation : service communication IMAG
- N° ISSN 1276-9460

Pour recevoir la lettre de l'IMAG, adressez un courriel à [Clotilde.Chaland@imag.fr](mailto:Clotilde.Chaland@imag.fr) en précisant vos coordonnées postales ou électroniques.